

조직혈류측정을 위한 자기혼합형 레이저 도플러 혈류계의 검토.

고 한우, 최 덕희  
한국표준과학 연구원

Laser Doppler blood flowmeter using self-mixing effect  
for the measurement of tissue blood flow.

Han-Woo Ko, Duck-Hee Choi  
Korea Research Institute of Standards and Science.

ABSTRACT

This preliminary study describes the self-mixing effect of laser diode for the measurement of tissue blood flow.

A self-mixing effect of laser diode was detected by the single-mode laser diode and the moving target, and the Doppler shifted frequency was changed linearly with the driving frequency of speaker. The measured Doppler shifted frequency was compared with the simulated data.

서론

Laser Doppler 유속계는 1964년 Yeh와 Cummins에 의해 발표된 이래 의학, 생물학 분야에서의 응용도 점점 증가하여 인체의 혈류에 대한 새로운 정보를 제공하고 있다.[1] 1975년 stern은 laser doppler 기법에 의한 인체 피부 혈류계측의 실용적 가능성을 최초로 제안하였으며, Anderson 등 (1980)은 피부의 파장에 따른 광학적 특성을 발표하여 이후의 조직의 광학적 연구에 기초를 놓았으며, 그 이후 활발히 연구가 진행되었다[2-4].

한편 Mul 등은 (1984) 지금까지의 연구자들과 달리 광원으로 He-Ne laser 대신 반도체 레이저 (파장 840 nm)와, detector를 하나의 probe에 내장시키 움직임에 의한 잡음발생으로 문제가 되던 광섬유를 제거한 blood flow monitor를 개발하였다.[5]

최근 S. Shinohhara 등은 지금까지와는 달리 레이저 다이오드 자체내에 광출력을 모니터링하기 위해 내장된 광검출기에서의 자기혼합효과를 이용하여 물체의 이동속도를 측정하는 방법을 발표하였다.[8-9]. 이것은 이동 물체의 속도 뿐만 아니라 방향 까지 알 수 있으며, 종래의 측정법에 비하여 광축의 배열이나 빛도의 검출기가 불필요한 등 시스템의 구성이 대단히 간단한 장점을 가지고 있으므로 다양한 분야의 용

용이 기대되고 있다. M.H. Koelink 등은 광섬유를 이용하여 조직의 혈류속도를 측정하기 위한 기초적인 연구결과를 발표하였다.

본 연구에서는 레이저 다이오드의 자기혼합효과(self-mixing)를 이용하여 조직의 혈류속도 뿐만 아니라 혈류량도 동시에 측정할 수 있는 측정법을 연구하기 위한 기초로서, single mode 반도체 레이저를 이용하여 이동 물체의 속도에 따른 도플러 주파수의 변화를 측정하기 위한 측정 시스템을 구성하고 그 측정 결과와 측정 방법상의 문제점들을 분석하고 측정방법상의 문제점들을 검토 하였다.

2. Single-mode 레이저의 자기 혼합효과.

레이저 다이오드의 자기혼합효과 즉 레이저 공진기 내로의 광학적 개환효과는 주로 레이저 발진의 안정도와 발진 주파수 대역의 확대역화를 조사하기 위해 연구되어 왔으며, 자기혼합효과란 조사된 광이 이동 물체로 부터 반사된 광의 일부가 레이저 공진기내로 되돌아 와서 레이저 내의 원래의 발진파형과 혼합되는 현상을 말하며, 이로인한 beat 파는 광검출기의 출력으로 검출될 수 있다. 이러한 혼합현상은 두 가지 방법으로 검출 될수 있다. 즉 laser diode(LD)의 외부에 있는 검출기로 검출하는 방법과 그림 1과 같이 자기혼합에 의해 발생하는 LD 자체의

구동 구동전류 또는 LD의 단자 전압의 변화를 검출하는 것이다.

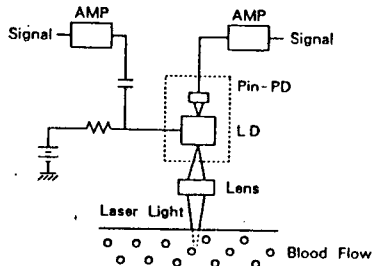


Fig.1 LDF with self-mixing effect.

이동 물체에 의해 발생하는 도플러 주파수 편이  $f_D$ 는 이동 물체의 속도를  $v$ , 이동 물체의 속도벡터와 레이저 beam간의 각도를  $\theta$ , 광원의 파장을  $\lambda$ 라 하면 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$f_D = 2v \cos\theta / \lambda \quad (1)$$

자기혼합효과로 인한 LD의 발진은 반사된 빛의 세기가 강하면 LD는 multimode로 발진하며, 약할 때는 single-mode로 발진하며, 인체조직으로 반사된 광은 입사된 광의 4-7% 이므로 LD의 single-mode 발진은 유지된다.[7]

### 3. 실험 및 결과고찰

본 연구에서는 그림 2와 같이 LD에 내장된 PIN PD(photo detector)를 이용하여 혼합된 신호를 검출하였다. 따라서 이 방법은 기존의 Michelson 간섭계형에 비하여 측정 시스템이 대단히 간단히 구성될 수 있다.

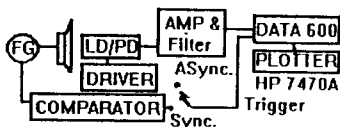


Fig.2 Experimental set-up for experiments

광원으로는 출력 5mW, 파장 785nm인 Hitachi사의 HL7836G single-mode 레이저 다이오드를 사용하였으며, 구동전류는 45mA로 하였다. 자기혼합 신호는 LD에 내장된 PD로 모니터 하였다. 이동 물체로는 Roland사의 스피커

(model Cube-40, 직경 10')를 사용하였으며, 스피커의 구동 신호는 함수발생기를 이용하여 1, 1.5, 2, 2.5, 3 Hz의 정현파(진폭 4Vp-p)를 인가하였다. LD와 스피커의 진동판간의 거리는 1mm로 하고 스피커의 진동판에 레이저가 조사되는 부분에는 흰색 종이를 부착 하였다. 또한 스피커와 LD 부분을 재진대 위에 올려놓아서 진동이나 기타 주위의 진동으로 인한 영향을 제거할 수 있도록 하였다.

PD에서 검출된 신호는 설계된 회로로 증폭한후 30-20 KHz로 필터링한후 Data 6000(진치 증폭기 모델 611, 14 bits A/D, 샘플링 주파수 50KHz)으로 512점의 데이터를 입력신호의 영교차점으로 부터 10msec 지연후 부터 신호를 획득하도록 트리거 신호에 동기시켜서 신호를 획득한후 이의 진폭 스펙터럼을 분석하여 플로터(Hewlett Packard 7470A)로 데이터를 플로팅 하였으며, 도플러 편이 주파수는 Data 6000 상에서 측정 하였다.

또한 입력신호에 동기시키지 않고 Data 6000으로 얻어진 신호의 패턴이 정현파에 가장 가까운 신호를 획득하여 신호를 분석하고 플로팅 하여 앞의 신호와 비교 하였다.

모세혈관내의 혈류속도는 0-4mm/s 이므로, 혈류속도  $v$ 를 4 mm/s, 본 연구에서 사용된 레이저의 파장은 785nm 이므로 이 때  $\theta$ 의 변화에 따른  $f_D$ 의 변화는 식(1)에 의해 그림3과 같이 된다.

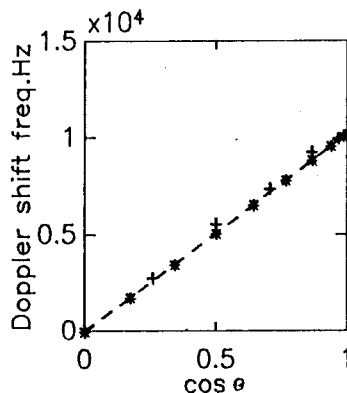
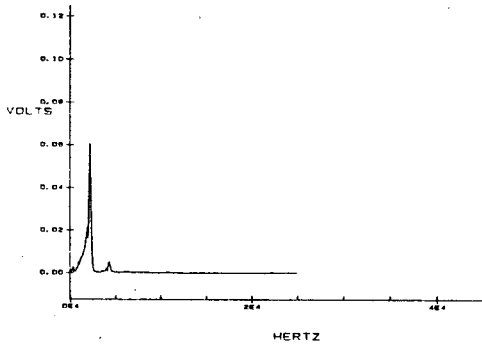


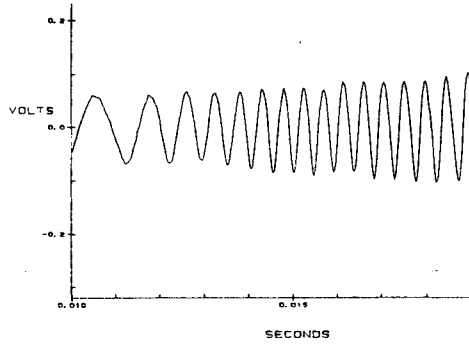
Fig.3 Variation of Doppler-shifted frequency  $f_D$  with the  $\theta$ .

그림에서 --\*는 식(1)에 의한 계산값이며, +는 측정 값이다.

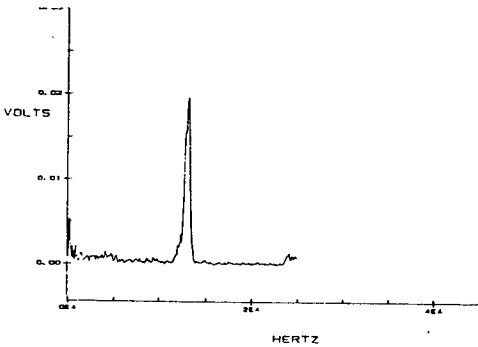
그림4는 입력신호에 동기시켜 얻어진 신호에 대한 진폭 스펙트럼이다.



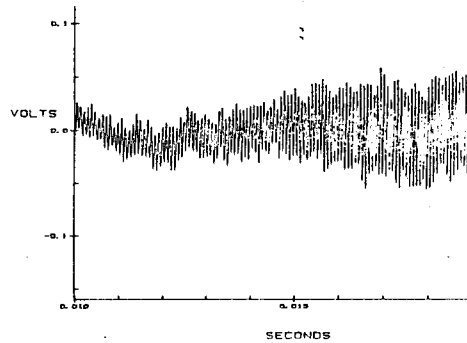
(a) Doppler shifted frequency spectrum of 1Hz input signal.



(c) Doppler shifted signal of 1Hz input signal.



(b) Doppler shifted frequency spectrum of 3Hz input signal.



(d) Doppler shifted signal of 3Hz input signal.

Fig.4 Frequency spectra were obtained with self-mixing.(synchronized)

그림 4의 (a),(b),(c),(d)는 각각 입력신호의 주파수가 1, 3Hz 일 때의 진폭 스펙트럼과 검출된 도플러 편이된 신호이다. 전체적으로 입력신호의 주파수가 증가함에 따라서 스피커의 진동판의 속도가 빨라지므로 도플러 편이 주파수도 증가함을 알 수 있다.

그림 5는 도플러 편이된 주파수와 입력 신호 주파수간의 관계를 나타낸다. 그림에서 비선형성이 있는 것은 입력신호의 주파수가 증가함에 따라서 스피커 자체의 주파수 특성이 다소 향상되기 때문 인 것으로 생각된다.

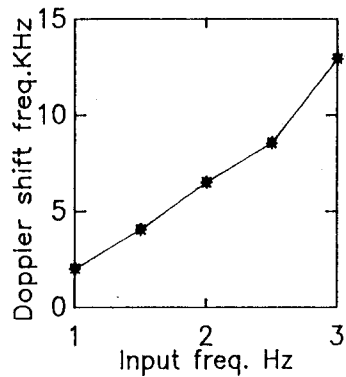


Fig.5 Doppler shifted frequency VS input frequency of speaker.

그림 6은 스피키의 입력신호가 2Hz인 경우에 입력신호의 영교차점에 대하여 비동기로 얻은 신호에 대한 진폭 스펙트럼을 나타낸다. 앞의 그림 4와 비교하면 스펙트럼의 진폭이 상당히 넓어진 것을 알 수 있으며 이는 진동판의 속도의 변화가 서로 다른 때에 신호가 얻어진 때 문제로 생각된다.

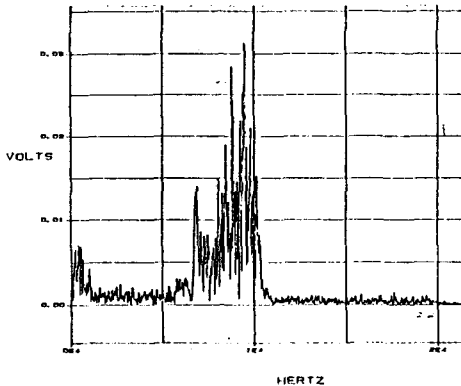


Fig.6 Frequency spectra were obtained with self-mixing.(input 2Hz Async.)

4. 결 론

본 연구에서는 LD의 자기혼합효과를 이용한 인체조직의 혈류측정법을 개발하기 위한 기초연구로서 이동물체의 속도에 따라 LD의 자기혼합 효과에 의해 도플러 편이 주파수가 발생하며 이를 검출할 수 있음을 확인 하였다.

이동 물체로는 스피키를 사용하였으며, 스피키의 입력 주파수를 1-3Hz 까지 변화시킨 결과 도플러 편이 주파수는 2-12KHz의 범위에서 거의 선형적으로 변하였으며, 광축과 진동판간의 각도의 변화에 따른 도플러 편이 주파수의 변화를 측정하고 이를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

LD와 진동판간의 거리가 변함에 따라서 검출된 신호의 진폭에 차이가 있으므로 측정 범위 내에서 최적인 거리를 결정하기 위한 연구와 비소입자를 주입한 유체를 이용한 질대속도 측정 및 이의 정량화에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1.Yeh Y. Cummins H.Z., "Localized fluow measurement with He-Ne laser spectrometer. Appl. Phys Lett 4 : 176-179, 1964.
- 2.STERN, M.D., "In vivo evaluation of microcirculation by coherent light scattering," Nature, 254, 56-58, 1975.
- 3.R.R. Anderson and J.A. Parrish, "Optical properties of human skin in the science of photomedicine. J.D. Regan and J.A. Parrish, Eds. (Plenum, New York, 1982).
4. Nilsson, G.E., Tenland, T. and Oberg, P.A., "A new measurement of tissue blood flow by light beating spectroscopy, IEEE Trans. BME-27, 12-19, 1980(a).
5. F.F.M. de Mul, et al., "Mini Laser-Doppler (Blood) Flow Monitor with Diode Laser Source and Detection Integrated in the the Probe," Appl. Opt. 23, pp.2970- 2973, 1984.
6. H.W. Jentink, "Monte Carlo simulation of laser Doppler blood flow measurements in tissue," Applied Optics, Vol.29-16, pp.2371-2381, 1991.
7. S. Shinohara, A. Mochizuki, H. Yoshida, M. Sumi, "Laser Doppler velocimeter using the self-mixing effect of a semiconductor laser diode," Applied Optics, Vol.25-9, pp. 1417-1419, 1986.
8. M.H. Koelink, M. Slot, F.F.M. de Mul, et al., "Grass-fiber self-mixing diode-laser Doppler velocity," Meas. Sci. Technol. No.3, pp.33-37, 1992.